Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol. 8, No. 2, pp. 15-24, 1999.

Effects of Extractants on Copper Ion Extraction with Hollow Fiber Supported Liquid Membranes

Itsara KASEMSESTHA, and Ura PANCHAROEN

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Abstract

Nowadays ,There are a large number of extractants available for commercial usage. However, most of these extractants still suffer problem such as solvent entrainment (or loss) , poor selectivity and slow extraction rate. Most of these problems may be solved partially by properly designing the equipment or improving the process including producing new suitable extractants. This paper will propose a technic of hollow fiber supported liquid membranes (HFSLM) finding out the effects of extractants such as D2EHPA, LIX 84-I and LIX 860-I in kerosene diluent on copper ion extraction. From the experiments LIX 84-I shows the best extraction on copper ion to the other extractants. Moreover, some experiments are carry out to improve the efficiency on copper ion extraction with HFSLM.

ผลกระทบของชนิดของสารสกัดที่มีต่อการสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง

อิศรา เกษมเศรษฐ, และอุรา ปานเจริญ

ภาควิชาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน สารสกัดที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายถูกผลิตออกมาให้เลือกใช้หลากหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามสารสกัดเหล่านี้ส่วนใหญ่เมื่อนำไปใช้งานยังคงมีปัญหาในหลายด้าน เช่น การสูญเสียสารสกัด (solvent entrainment) การคัดเลือกสกัดไม่ดี (poor selectivity) และการสกัดเกิดขึ้นช้า (slow extraction rate) ปัญหาต่างๆ เหล่านี้อาจแก้ไขได้โดยการออกแบบอุปกรณ์หรือปรับปรุงกระบวนการใหม่รวมถึงการพัฒนาสารสกัดชนิดใหม่ งานวิจัยนี้มุ่งเสนอเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบน

เส้นใยกลวงเพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารสกัดที่มีต่อการสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง โดยพิจารณาจากสารสกัด D2EHPA LIX 84-I และ LIX 860-I ละลายในตัวทำละลายเคโรซีน (kerosene) จากการทดลองพบว่าสารสกัด LIX 84-I มีประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงสูงที่สุดในบรรดาสารสกัดทั้งหมดที่นำมาศึกษา นอกจากนั้นยังมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงต่อไป

คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโลหะ เช่น การผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า การชุบโลหะ การผลิตโลหะผสม (metal alloy) และการแปรรูปโลหะ เป็นต้น มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างยิ่ง ประกอบกับความต้องการใช้โลหะที่มีอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณสินแร่โลหะในธรรมชาติที่มีอย่างจำกัดลดลงไปทุกขณะ รวมถึงการออกกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นผลให้มีความพยายามค้นหาวิธีการแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตโลหะ เพื่อที่จะใช้โลหะให้คุ้มค่าและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Loiacono, *et al.* 1986) ในกระบวนการผลิตโลหะโดยใช้สารเคมี (hydrometallurgical process) หลังจากผ่านกระบวนการชะละลาย (leaching) สินแร่แล้ว มักจะนำสารละลายที่ได้ไปผ่านกระบวนการแยกเพื่อดึงส่วนประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายผสม กระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการที่มีทฤษฎีพื้นฐานรองรับมาเป็นเวลานานแล้ว การถ่ายเทไอออนของโลหะในกระบวนการนี้ขึ้นกับ ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและผันกลับได้ ดังนี้จึงสามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการเปลี่ยนแปลงภาวะทางเคมี (chemical condition) การปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยเน้นไปที่การผลิตสารสกัดชนิดใหม่ๆ ทำให้กระบวนการนี้ได้รับความสนใจมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ยังมีข้อจำกัดอีกหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพของการสกัดถูกจำกัดโดยค่าสัดส่วนระหว่างสารละลายป้อนกับตัวทำละลาย (feed to strip ratio) และค่าสัดส่วนการกระจายของตัวถูกละลายระหว่างวัฏภาค ต่างๆ (distribution ratio) นอกจากนั้นกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบพื้นฐานยังต้องใช้ตัวทำละลายเป็นปริมาณมาก

เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนตัวรองรับ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความสนใจศึกษาจากนักวิจัยหลายท่าน เนื่องจากสามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อแยกและเพิ่มความเข้มข้นให้กับไอออนของโลหะชนิดต่างๆ ได้ เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนตัวรองรับจึงนับได้ว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจของกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาการนำเทคนิคเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนตัวรองรับไปใช้ในการสกัดไอออนของโลหะ (Barnes, *et al.* 1995).

โดยทั่วไป ระบบเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนตัวรองรับจะประกอบไปด้วย วัฏภาคสารละลายอินทรีย์ (organic phase) ตัวรองรับ (supporter) และวัฏภาคสารละลายของน้ำ (aqueous phase) สองวัฏภาค วัฏภาคสารละลายอินทรีย์จะไม่รวมเป็นเนื้อดียวกับวัฏภาคสารละลายของน้ำวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ประกอบไปด้วย สารสกัด (extractant) และตัวทำละลาย (diluent) สารสกัดในกรณีนี้ได้แก่ สารสกัดที่ใช้โดยทั่วไปในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย ตัวทำละลายเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ซึ่งโดยปกติจะเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เฉื่อย (organic solvent) ทำหน้าที่ในลักษณะเป็นตัวกลางให้กับสารสกัด นอกจากนั้นในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ยังอาจประกอบไปด้วยตัวเติม (modifier) ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกสกัดได้ดีขึ้น

ตัวรองรับสำหรับเยื่อแผ่นเหลวโดยทั่วไป ได้แก่ วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนและไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉื่อยต่อสารเคมี ตัวรองรับมีรูปร่างหลายแบบ ได้แก่ แผ่นแบน (flat sheet) แผ่นม้วน (spiral type) และ เส้น

ใยกลวง (hollow fiber) เป็นต้น ตัวรองรับที่พบเห็นโดยทั่วไปคือ เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการ อัลตราฟิวเตรชั่น (ultrafiltration) รูปแบบของตัวรองรับชนิดเส้นใยกลวงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่ารูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง (Dahuron and Cussler, 1998) และเยื่อแผ่นเหลวที่เสื่อมสภาพสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ง่ายโดยการเติมเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปใหม่ (reimpregantion) (Danesi and Rickert, 1986; and Tanikaki, *et al.* 1988) การเตรียมเยื่อแผ่นเหลวพยุงบนตัวรองรับทำได้โดยให้สารละลายอินทรีย์ซึมเข้าไปในรูพรุนจนเต็มช่องว่างและเคลือบไว้ที่ผิวของตัวรองรับเกิดเป็นแผ่นฟิล์มของสารละลายอินทรีย์บนตัวรองรับ เมื่อนำแผ่นฟิล์มนี้มากั้นระหว่างสารละลายของน้ำสองชนิดจะทำหน้าที่เป็นเยื่อแผ่นเหลวเพื่อถ่ายเทไอออนของโลหะจากสารละลายของน้ำไปยังสารละลายของน้ำอีกชนิดหนึ่ง

การคัดเลือกสกัดจะสมบูรณ์เมื่อสารสกัดในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์ทำปฏิกริยาจำเพาะกับไอออนของโลหะในสารละลายป้อนที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสองวัฏภาค ปฏิกริยาจำเพาะที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของไอออนของโลหะในเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนตัวรองรับไอออนของโลหะที่ต้องการ จะถูกจับเข้าไปในเยื่อแผ่นเหลวทำปฏิกริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะแพร่ผ่านชั้นของเยื่อแผ่นเหลวโดยอาศัยผลต่างของความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนในเยื่อแผ่นเหลวเป็นแรงขับ ที่ฝั่งตรงข้ามของเยื่อแผ่นเหลวจะเกิดปฏิกริยาย้อนกลับของปฏิกริยาระหว่างสารสกัดกับไอออนของโลหะเนื่องจากภาวะที่แตกต่างกัน ในบางกรณีที่ภาวะนี้จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนที่ถ่ายเทสวนทาง (counter-ion) ซึ่งละลายอยู่ในสารละลายสตริป (strip solution) กับสารสกัดได้ดีกว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะและสารสกัดจะแตกตัวออก (dissociates) ปลดปล่อยทั้งไอออนของโลหะและสารสกัด ไอออนของโลหะจึงถ่ายเทมายังสารละลายสตริป ส่วนสารสกัดจะยังคงอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวต่อไป เพื่อทำการสกัดไอออนของโลหะอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารสกัดที่มีต่อการสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงโดยพิจารณาจากสารสกัดสามชนิดได้แก่ D2EHPA LIX 84-I และ LIX 860-I ซึ่งสองชนิดหลังเป็นสารสกัดชนิดใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นมาสำหรับเลือกสกัดไอออนของทองแดงโดยเฉพาะ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง การทดลอง

อุปกรณ์และสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ได้แก่คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) นอมอลโดเดคานอล (1-dodecanol) ไอโซโพรพิวแอลกอฮอล (isopropyl alcohol)ลิเธียมคลอไรด์ (LiCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นคุณภาพระดับงานวิเคราะห์ (analylical grade) D2EHPA จากบริษัทซิกม่า (SIGMA) LIX 84-I และLIX 860-I ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเฮงเค็ล (Henkel) เคโรซีน (kerosene Jet A1) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทยออยล์ โมดูลของเส้นใยกลวงที่นำมาใช้เป็นแบบสำเร็จรูปซึ่งผลิตโดยบริษัท Hoechest Calenese รุ่น 5PCG-261

โมดูลของเส้นใยกลวงจะถูกนำมาประกอบกับอุปกรณ์ต่างๆเป็นชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 1

วิธีการทดลอง

<u>การทดลองสกัดด้วยตัวทำละลาย</u>

การทดลองสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อสกัดไอออนของทองแดงออกจากสารละลายป้อน โดยแบ่งการทดลองเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนการสกัดและขั้นตอนการสตริป การทดลองมีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลเบื้องต้นของการสกัดโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงเพื่อนำไปใช้กับการทดลองสกัดต่อไป

ขั้นตอนการสกัด เริ่มโดยนำสารละลายป้อนที่ประกอบด้วย คอปเปอร์ซัลเฟตละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตรที่ใช้ทดลองคือ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายป้อนนี้ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250

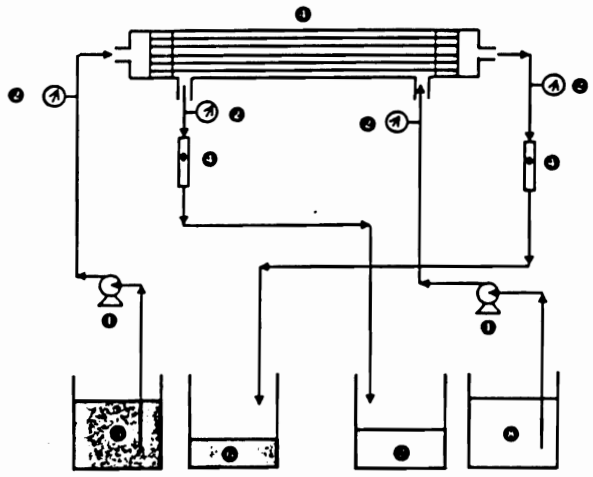
มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายอินทรีย์ที่ประกอบด้วยสารสกัดและเคโรซีนที่ความเข้มข้นที่ต้องการโดยอาจมีตัวเติมที่ความเข้มข้นที่ต้องการ เป็นปริมาตรรวม 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขวดเดียวกัน ปั่นกวนสารละลายป้อนและสารละลายอินทรีย์ให้ผสมกันโดยใช้แท่งแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายผสมเทใส่กรวยแยกทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนที่ผ่านการสกัดแล้วจากนั้นแยกสารละลายป้อนออกจากสารละลายอินทรีย์

ขั้นตอนการสตริป เริ่มจากนำสารละลายสตริปซึ่งเป็นสารละลายของกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำสารละลายอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนแรกมาใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลายสตริป ปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่อัตราเร็วสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายผสมเทใส่กรวยแยกทิ้งไว้ให้แยกชั้น 1 ชั่วโมง แล้วจึงเก็บตัวอย่างสารละลายสตริปที่ผ่านการทดลองแล้ว

ตัวอย่างของสารละลายป้อนก่อนทำการทดลอง สารละลายป้อนที่ผ่านการทดลองแล้ว สารละลายสตริปก่อนทำการทดลอง และสารละลายสตริปที่ผ่านการทดลองแล้วทั้งสี่ชนิดที่เก็บไว้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการ atomic absorption spectrometry โดยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROPHOTOMETER AA-670 ของบริษัท Shimadzu ผลที่ได้จะเป็นความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

<u>การทดลองสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง</u>

นำสารละลายอินทรีย์ที่ประกอบไปด้วยสารสกัดและเคโรซีนที่ความเข้มข้นที่ต้องการโดยอาจมีตัวเติมที่ความเข้มข้นที่ต้องการมาไหลเวียนในเส้นใยกลวงฝั่งของท่อ (tube side) เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้สารละลายอินทรีย์เคลือบฝังบนเส้นใยกลวงเป็นเยื่อแผ่นเหลวพยุงบนเส้นใยกลวง จากนั้น ป้อนสารละลายที่ประกอบไปด้วยคอปเปอร์-ซัลเฟตและลิเธียมคลอไรด์ละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน และ 1 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ เป็นปริมาตร 10 ลิตรให้ไหลผ่านในฝั่งของท่อขณะเดียวกัน ป้อนสารละลายสตริปซึ่งเป็นสารละลายของกรดซัลฟูริกในน้ำกลั่น เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10 ลิตรให้ไหลผ่านในฝั่งของเปลือก (shell side) ในลักษณะไหลสวน ทางกัน ปรับอัตราไหลของทั้งสองฝั่งให้คงที่ที่ประมาณ 200 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างสารละลายของน้ำกลั่นทั้งสองชนิดในถังเก็บก่อนเริ่มทำการทดลองและเมื่อการทดลอง สิ้นสุด เก็บตัวอย่างสารละลายป้อนที่ไหลออกจากฝั่งของท่อ (raffinate) และสารละลายสตริปที่ไหลออกจากฝั่งของเปลือก (recovery) ทุก ๆ 5 นาทีจนครบ 50 นาที นำตัวอย่างที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์โดยวิธี atomic absorption spectrometry โดยเครื่อง ATOMIC ABSORPTION/FLAME EMISSION SPECTROPHOTOMETER AA-670 ของบริษัท Shimadzu เพื่อหาความเข้มข้นของไอออนทองแดงในสารละลายตัวอย่าง



รูปที่ 1 แสดงการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นในกลวง โดยที่ ❶ เครื่องสูบ ❷ มาตรวัดความดัน ❸ มาตรวัดอัตราการไหล ❹ โมดูลของเส้นใยกลวง ❺ ถังเก็บสารละลายป้อนขาเข้า ❻ ถังเก็บสารละลายป้อนขาออก ❼ ถังเก็บสารละลายสตริปขาออก ❽ ถังเก็บสารละลายตริปขาเข้า

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

กลไกการถ่ายเทมวลของของกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายและกระบวนการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวเกิดขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะกับสารสกัดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและไฮโดรเนี่ยมไอออน ดังสมการสมดุล

$$M^{n+} + n\overline{RH} \rightleftharpoons \overline{MR_n} + 2H^+$$

เมื่อ M^{n+} คือ ไอออนของโลหะ $\overline{RH}$ คือสารสกัด $\overline{MR_n}$ คือสารประกอบเชิงซ้อนของสารสกัดและไอออนของโลหะ และ K_{ex} คือค่าคงที่ของสมดุลการสกัดโดยเครื่องหมายขีดเหนือตัวอักษร (overbar) หมายถึงองค์ประกอบนั้นอยู่ในวัฏภาคสารละลายอินทรีย์

การทดลองสกัดด้วยตัวทำละลาย

การทดลองชุดแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA ในสารละลายอินทรีย์ จากการทดลองจะพบว่า ค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดงออกจากสารละลายป้อนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารสกัด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA จากความเข้มข้น 5% โดยปริมาตร เป็น 25% โดยปริมาตร พบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดง มีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มในอัตราที่ลดลงโดยเปอร์เซนต์การนำกลับเพิ่มในอัตราที่น้อยกว่า

การทดลองชุดที่สองมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงของสารสกัดทั้งสามชนิดที่ความเข้มข้นของสารสกัด 5% โดยปริมาตร จากการทดลองจะพบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดงออกจากสารละลายป้อนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับชนิดของสารสกัด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า สารสกัด LIX 84-I มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อพิจารณาจากทั้งในด้านเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับ โดยเปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าต่ำกว่าเปอร์เซนต์การสกัดเล็กน้อย ส่วนสารสกัด LIX 860-I มีประสิทธิภาพสูงมากในด้านเปอร์เซนต์การสกัด แต่เปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าต่ำมาก สำหรับสารสกัด D2EHPA ทั้งเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าต่ำแต่มีค่าใกล้เคียงกัน ผลการทดลองที่ได้แสดงว่าการทดลองสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้สารสกัดในกลุ่ม LIX มีไอออนของทองแดงบางส่วนตกค้างอยู่ในสารละลายอินทรีย์ ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีนำไอออนของทองแดงที่ตกค้างอยู่ออกมายังสารละลายสตริป

การทดลองชุดที่สามจะทำการทดลองเหมือนกับชุดที่สองเพียงแต่เติมตัวเติมนอร์มอลโดเดคานอลเข้มข้น 5 % โดยปริมาตร ลงไปในสารละลายอินทรีย์ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4

เมื่อพิจารณารูปที่ 4 พบว่า สำหรับการทดลองชุดที่สาม สารสกัดทั้งสามชนิดมีเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับสูงมากเมื่อเทียบกับการทดลองชุดที่สอง โดยสารสกัด LIX 84-I และ D2EHPA มีประสิทธิภาพ สูงสุด เมื่อพิจารณาจากทั้งในด้านเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับ โดยเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าสูงมากเกือบ 100% ส่วนสารสกัด LIX 860-I มีประสิทธิภาพสูงมากในด้านเปอร์เซนต์การสกัดแต่เปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงว่า นอร์มอลโดเดคานอลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ของสารสกัดทั้งสามชนิดในกระบวนการสกัดไอออนทองแดงด้วยตัวทำละลาย

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยตัวทำละลาย จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการทดลองสกัดไอออนทองแดงโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงต่อไป

การทดลองสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง

การทดลองชุดที่สี่ ชุดที่ห้า และชุดที่หก มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสาร

สกัด D2EHPA LIX 84-I และ LIX 860-I ตามลำดับ จากการทดลองจะพบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดงออกจากสารละลายป้อนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารสกัด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 รูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA จากความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร เป็น 25% โดยปริมาตร พบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดงมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มในอัตราที่ลดลงลักษณะเดียวกับการทดลองชุดแรก เพียงแต่ที่ความเข้มข้นของสารสกัดค่าหนึ่งๆ ค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงมีค่าสูงกว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับของไอออนทองแดงสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 จะเห็นว่าเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I และ LIX 860-I จากความเข้มข้น 0.5% โดยปริมาตรเป็น 5% โดยปริมาตร พบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับในการสกัดไอออนทองแดง มีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มในอัตราที่ลดลงลักษณะเดียวกับการทดลองชุดที่สี่ เพียงแต่ความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้มีค่าน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงของสารสกัดทั้งสามชนิด พบว่าค่าเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับ ในการสกัดไอออนทองแดงออกจากสารละลายป้อนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับชนิดของสารสกัด

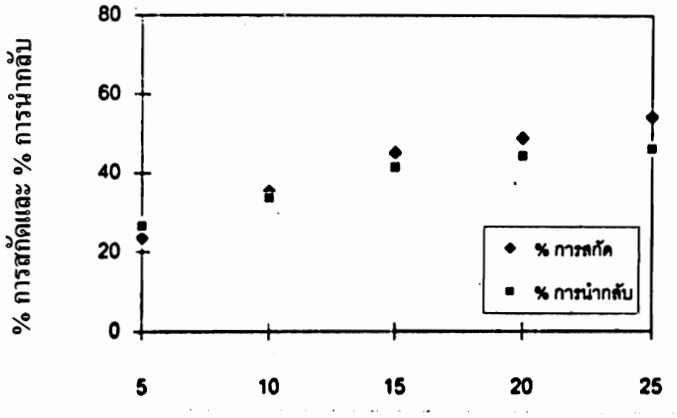
จากรูปที่ 5 รูปที่ 6 และรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารสกัด 5% พบว่า สารสกัดชนิด LIX 84-I และ LIX 860-I มีประสิทธิภาพสูงมากเกือบ 100% เมื่อพิจารณาจากทั้งด้านเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับ โดยที่สารสกัด LIX 84-I มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนสารสกัด D2EHPA มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารสกัดสองชนิดแรก โดยมีเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับใกล้เคียงกันที่ประมาณ 50% นอกจากนั้นแต่ละการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ทั้งเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายถึงแทบไม่มีไอออนทองแดงตกค้างอยู่ในวัฏภาคของเยื่อแผ่นเหลวเลย เนื่องจากกรณีที่ใช้สารสกัด D2EHPA เปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับ มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับสารสกัดในกลุ่ม LIX ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาทางเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไอออนทองแดงต่อไป

การทดลองชุดที่เจ็ด จะทำการทดลองสกัดไอออนทองแดงด้วยด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงโดยทำที่ความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA 5% โดยปริมาตร เพียงแต่ในแต่ละการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงภาวะเพื่อทดลองหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไอออนทองแดง ได้แก่ เพิ่มตัวเติมนอร์มอลโดเคคานอลในสารละลายอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร 5% โดยปริมาตร และเพิ่มสารละลายบัฟเฟอร์ในสารละลายป้อน 10%โดยปริมาตร ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8

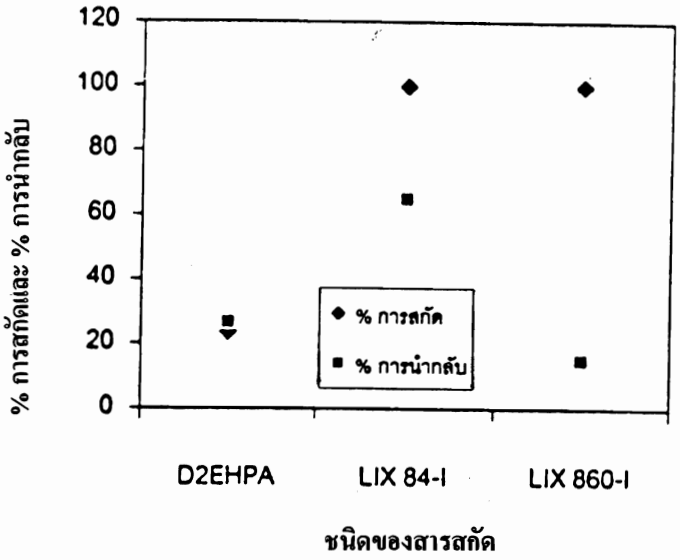
จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าตัวเติมนอร์มอลโดเดคา-นอล มิได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สกัดไอออนของทองแดงได้ดีขึ้น ส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สกัดไอออนของทองแดงได้ดีขึ้นกว่าเดิม แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนที่เปลี่ยนไปมีผลต่อความสามารถในสกัดไอออนของทองแดงด้วยด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง

สรุปผลการทดลอง

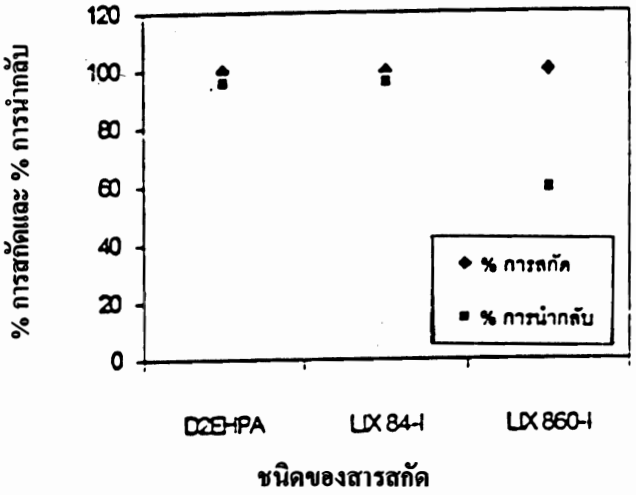
การสกัดไอออนของทองแดงด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงเป็นทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงของการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวพยุงบนเส้นใยกลวง ได้แก่ ชนิดของสารสกัด สำหรับชุดการทดลองนี้ สารสกัด LIX 84-I มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสกัดไอออนของทองแดง นอกจากนั้น ยังพบว่า การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนจะช่วยเพิ่มความสามารถในสกัดไอออนของทองแดงด้วยด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวงให้ดีขึ้น



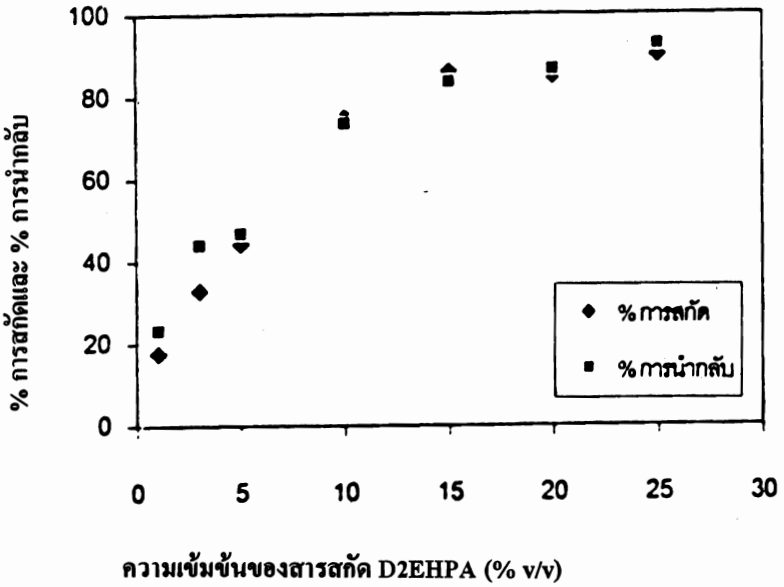
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA ในสารละลายอินทรีย์สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย



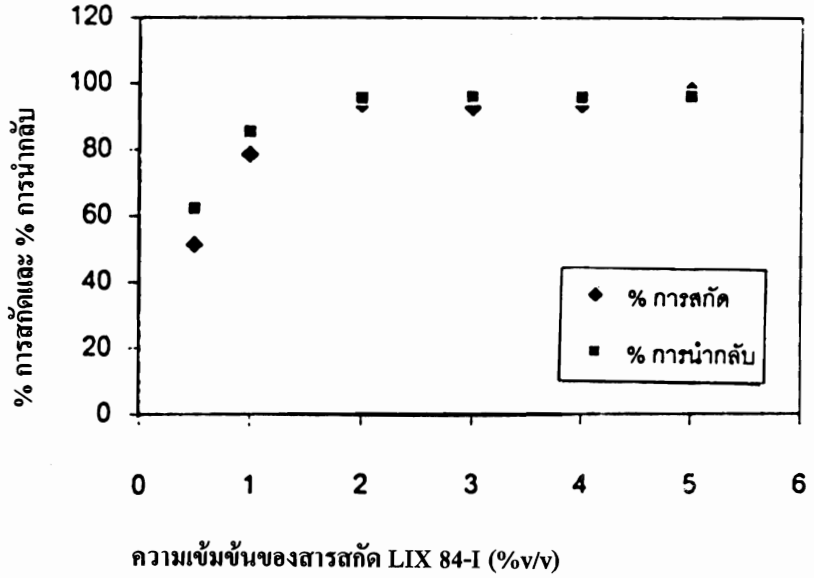
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การสกัดและเปอร์เซนต์การนำกลับของไอออนทองแดงกับชนิดของสารสกัด โดยพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารสกัดในสารละลายอินทรีย์ 5% โดยปริมาตร สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย



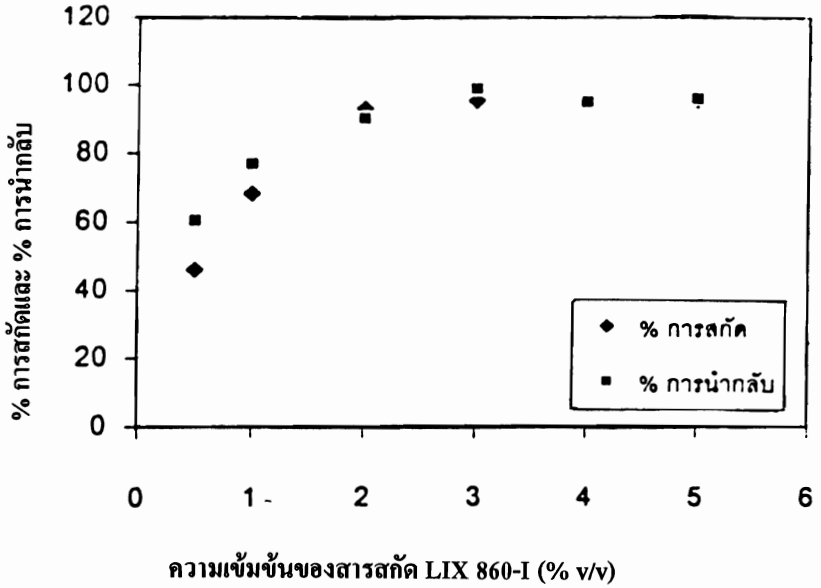
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์การสกัด และเปอร์เซนต์การนำกลับของไอออนทองแดงกับชนิดของสารสกัด เมื่อมีการเติมตัวเติมนอร์มอลโดเดคานอลในสารละลายอินทรีย์ โดยพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารสกัดในสารละลายอินทรีย์ 5% โดยปริมาตร สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย



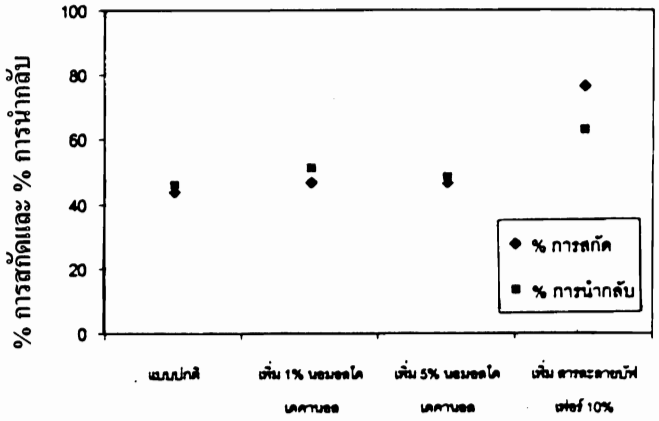
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA ในสารละลายอินทรีย์ สำหรับการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสารสกัด LIX 84-I ในสารละลายอินทรีย์สำหรับการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับความเข้มข้นของสารสกัด LIX 860-I ในสารละลายอินทรีย์สำหรับการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการสกัดไอออนของทองแดงกับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบต่างๆ สำหรับการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พยุงบนเส้นใยกลวง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยตามโครงการหมายเลข MT-39-06-MET-09-01 ปีงบประมาณ 2539

เอกสารอ้างอิง

Barnes, D.E., Marshall, G.D. and Van Staden, J.F. 1995. Rapid optimization of chemical parameters affecting supported liquid membranes. *Separation Science and Technology.* **28 (13&14)** : 2149-2165.

Dahuron, Lise and Cussler, E. L. 1988. Protein extractions with hollow fiber. *AiChE Journal.* **34 (1)** : 130-136 .

Danesi, P. R. And Rickert, P. G. 1986. Some observations on the performance of hollow-fiber supported liquid membranes for Co-Ni separations. *Solvent Extraction and Ion Exchange.* **4 (1)** : 149-164.

Loiacono, O., Dlioli, E. and Morinari, R. 1986. Metal ions separation and concentration with supported liquid membranes. *Journal of Membrane Science.* **28** : 123-138 .

Tanikaki, Masataka, Shiode, Tetsuo, Ueda, Masami and Ehochi, Wataru 1988. Facilitated transport of zinc chloride through hollow fiber supported liquid membrane. part 2 membrane stability. *Separation Science and Technology.* **23 (1049)** : 1161-1169.

(Revised version accepted November 10, 1998.)